

УДК 524.31.08

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ БТА ВЫБОРКИ ЗВЕЗД ТИПА δ ЩИТА

В.М. Бердникова, А.И. Галеев, Д.В. Иванова, Д.О. Кудрявцев

Аннотация

В статье представлены результаты обработки и анализа спектров 13 звезд типа δ Щита, наблюдавшихся в октябре 2008 г. на 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН. Кроме первичной обработки спектров выполнено определение по фотометрическим данным предварительных значений параметров атмосфер (эффективных температур и логарифмов ускорений силы тяжести), также измерены эквивалентные ширины спектральных линий и лучевые скорости звезд.

Ключевые слова: звезды типа δ Щита, параметры атмосфер, лучевые скорости.

Введение

Звезды типа δ Щита – это короткопериодические пульсирующие переменные звезды, в большинстве принадлежащие главной последовательности диаграммы Герцшпрунга–Рассела. Вызванные пульсациями амплитуды изменения блеска этих звезд составляют несколько сотых звездной величины, а периоды изменения блеска – несколько часов. Звезды типа δ Щита имеют также следующие диапазоны параметров: спектральные классы – от A0 до F5, температуры – 6000–9000 К, $\log g$ – 3.0–4.5 dex, массы и радиусы составляют соответственно 1.4–3 M_{\odot} и 1.5–2.5 R_{\odot} .

К настоящему времени детальные спектроскопические исследования выполнены лишь для небольшого количества звезд данного типа. Проводились специальные исследования по изучению химического состава этих звезд, например работы Рачковской [1, 2], Хуи-Бон-Хоа [3], Ющенко и соавторы [4], Фоссатти [5] и др. По результатам этих работ отмечается, что разные звезды типа δ Щита демонстрируют избыточные содержания многих элементов или химический состав, качественно схожий с Ат-звездами. Для достоверной проверки существования разделения этих звезд по содержанию элементов необходимо изучение по единой методике достаточно большой выборки звезд и определение их химического состава на основе качественного наблюдательного материала.

В настоящей работе представляем результаты обработки спектров и анализа фундаментальных параметров 13 звезд типа δ Щита, спектры которых были получены на 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН.

1. Исследуемые звезды

Настоящая работа проводится в рамках совместной программы «Исследование фундаментальных параметров и химического состава звезд типа дельта Щита на основе спектроскопии высокого разрешения», которая выполняется сотрудниками кафедры астрономии Казанского университета и Специальной астрофизической обсерватории РАН. Основная задача программы – определение химического

Табл. 1

Информация об исследуемых звездах

Звезда (HD) (HD)	m_V	$B - V$	Амплитуда	Период сут	$V \sin i$ км/с	Спектр. класс
2628	5.20	0.27	0.05	0.0693	16	A7 III
4818	6.38	0.31	0.01	0.0396	16	F2 IV
23194	8.06	0.20	0.005	0.0204	20	A4–A7 m
23607	8.26	0.26	0.01	0.047	10	A7 V
26322	5.39	0.35	0.07	0.1450	7	F2 IV–V
50420	6.16	0.31	0.01	0.17	26	A9 III
64491	6.23	0.28	0.007	0.049	15	A3 IV–V
71297	5.60	0.22	0.005	0.0380	13	A5 III–IV
73712	6.76	0.27	0.004	0.1411	30	A9 V
191747	5.51	0.09	0.01	0.1215	40	A3 III
204188	6.08	0.24	0.01	0.044	37	A8 m
214698	6.33	0.04	0.005	0.05	25	A2 V
221142	6.61	0.55	0.02	0.0730	–	F0

состава звезд выборки по наблюдениям на спектрометре высокого разрешения, установленном в фокусе Несмита 6-м телескопа БТА, и анализ содержаний максимально возможного количества химических элементов для рассмотрения процессов стратификации в звездах с пульсационными процессами в атмосферах.

Данные наблюдения проводились 17–18 октября 2008 г. на спектрометре НЭС БТА [6] с разрешением 45000 и отношением сигнал/шум 110–280 в зависимости от яркости звезды и времени экспозиции. В ходе наблюдений были получены спектры 13 звезд в спектральном диапазоне 4120–5590 Å. Основная информация о звездах (звездные величины, показатели цвета, амплитуды и периоды переменности, скорости вращения и спектральные классы) из статьи Родригеза и др. [7] представлена в табл. 1.

2. Обработка спектров и параметры атмосфер

Наблюдавшийся спектральный диапазон охватывает 30 перекрывающихся порядков. Первичная обработка спектров состояла в следующем: вычитания BIAS, рассеянного света, деление на плоское поле, экстракция, а также удаление космических частиц; калибровка длин волн выполнялась программным пакетом REDUCE [8]. В дальнейшем проведение непрерывного спектра, измерение лучевых скоростей и эквивалентных ширин спектральных линий производились посредством модифицированной программы DECH20T [9] (см. также <http://gazinur.com>). На рис. 1 представлено сравнение участков спектров в диапазоне 4512–4568 Å для четырех звезд с различными значениями скоростей вращения.

Для нескольких звезд были выполнены измерения эквивалентных ширин. В зависимости от скоростей вращения звезд число измеренных линий составило в целом для всех элементов от 100 до 500. Среди наиболее часто встречающихся элементов такие элементы, как Fe, Cr, Ti, Ni, Ca, Ce. Имеются линии редких элементов: Eu, Sr, La, Nd, Ba.

По фотометрическим индексам системы Стремгрена с помощью калибровок Балона [10] определены предварительные значения параметров атмосфер звезд для дальнейшего расчета содержаний элементов. По нашим оценкам температуры исследуемых звезд лежат в пределах достаточно широкого диапазона значений (6920–8845 K). Значения $\lg g$ колеблются от 2.86 до 4.43 dex.

Для всех звезд были измерены значения лучевых скоростей с использованием всех неблендированных линий. Полученные значения температур, логарифмов

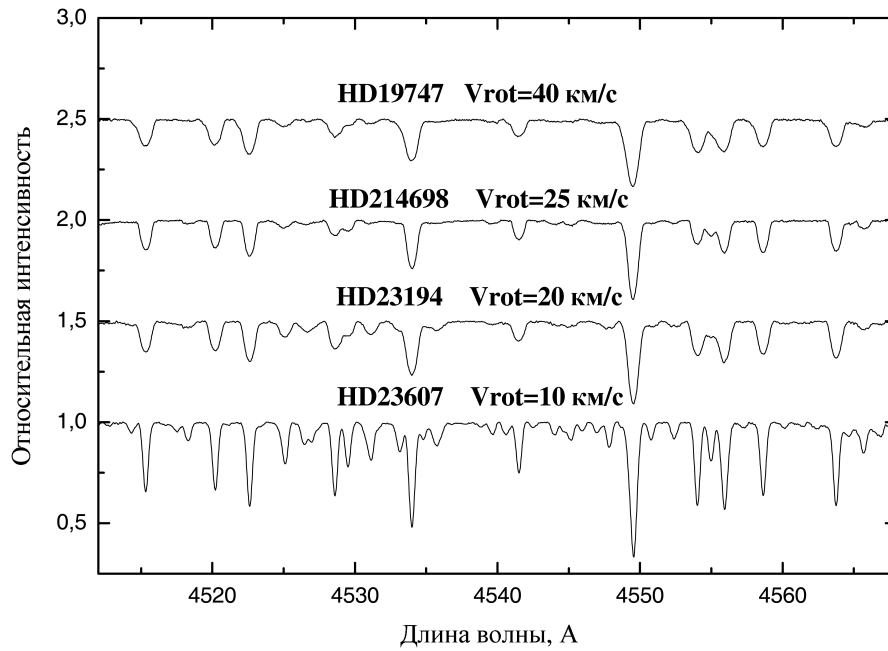


Рис. 1. Спектры звезд с разными скоростями вращения

Табл. 2

Сравнение параметров исследуемых звезд

Звезда (HD)	T_{eff} (our)	$\lg g$ (our)	T_{eff} (bibl)	$\lg g$ (bibl)	Ref	RV (our)	RV (bibl)	Ref (RV)
2628	7360	3.48	7325	3.59	[11]	-8.99	-10.3	[14]
4818	7560	3.93	7415	4.17	[12]	6.10	2.3	[14]
23194	8290	4.43	8542	4.0	[11]	3.95	1.0	[15]
23607	7990	4.42	7875	4.0	[11]	3.87	5.9	[15]
26322	6920	3.37	6943	3.57	[11]	16.20	17.1	[14]
50420	7170	2.86	7412	3.40	[11]	-3.87	-7.0	[14]
64491	7250	4.02	7585	4.20	[12]	13.41	15.3	[14]
71297	7880	4.29	7943	4.19	[12]	-0.42	28.6	[14]
73712	7360	3.30	7270	3.40	[13]	-	34.8	[14]
191747	8235	3.82	-	-	-	4.70	-13.0	[14]
204188	7940	4.19	7762	4.34	[12]	7.43	-12.4	[15]
214698	8845	3.74	-	-	-	-13.76	-12.7	[14]
221142	-	-	-	-	-	-	-12.0	[14]

ускорений силы тяжести и лучевых скоростей в сравнении с результатами других авторов представлены в табл. 2, где в первой колонке даны номера звезд, 2-я, 3-я и 7-я содержат параметры, рассчитанные в настоящей работе, а 4-я, 5-я и 8-я колонки – литературные данные из источников, указанных в столбцах 6 и 9.

Для звезд HD 2628 и HD 204188 на рис. 2 представлены зависимости лучевых скоростей от длины волны. Для разных элементов средние лучевые скорости имеют близкие значения. Для звезды HD 2628 эти значения лежат в пределах от -11.4 (3 линии Ni I) до -12.2 (6 линий Ti II). Для звезды HD 204188 – от -10.6 (2 линии Ti II) до -13.4 (3 линии Fe II). В целом для первой звезды лучевые скорости были

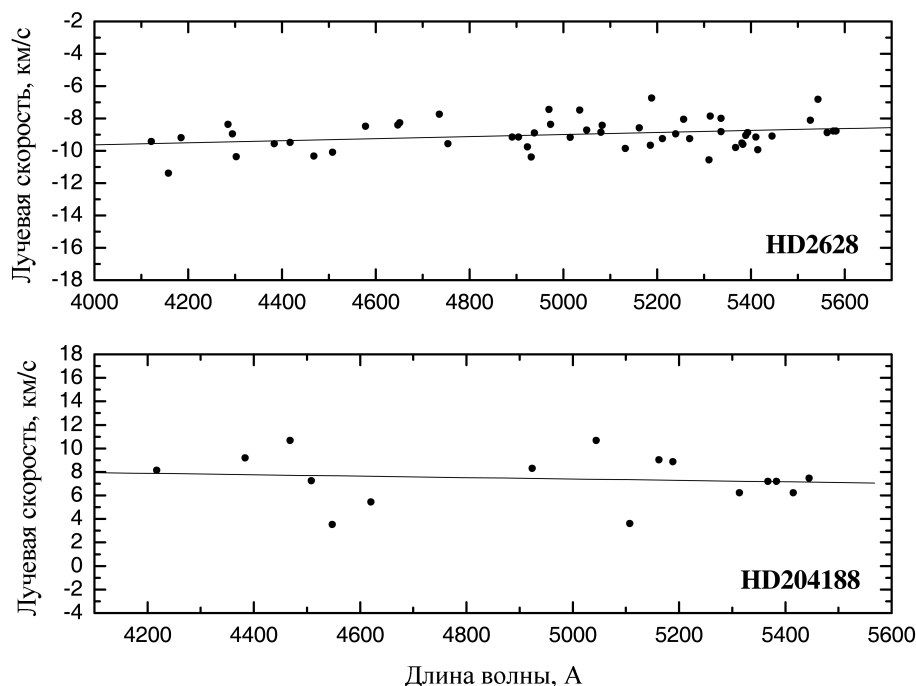


Рис. 2. Зависимости лучевых скоростей от длины волны

измерены по линиям 9 элементов (C I, Ca I, Co I, Cr I и Cr II, Fe I и Fe II, Mn I, Ni I, Sc II, Ti II), а для второй – по линиям 3 элементов (Cr II, Fe I и Fe II, Ti II). Объясняется это тем, что скорость вращения звезды HD 2628 равна 16 км/с, тогда как для звезды HD 204188 это значение составляет 37 км/с, с чем связано сильное блендирование ее линий. По этой же причине для звезды HD 2628 были измерены эквивалентные ширины линий большего количества элементов (в том числе редких), чем для звезды HD 204188. В табл. 3 приведены сведения для обеих звезд о количестве линий разных элементов, для которых были измерены эквивалентные ширины.

3. Результаты и перспективы

Выполнена обработка спектров выборки из 13 звезд типа δ Щита. Измерены эквивалентные ширины, лучевые скорости, по литературным фотометрическим данным выполнены оценки параметров звезд. В дальнейшем планируется уточнение параметров звезд по спектрам, определение содержаний элементов в предположениях ЛТР и не-ЛТР (для некоторых элементов) для поиска возможных эффектов стратификации в атмосферах звезд. По спектрам обнаружено, что скорость вращения звезды HD 73712 значительно превышает значение, указанное в литературе [1]. Планируется также провести сравнение полученных результатов с данными наблюдений звезд типа δ Щита, выполненными на телескопе РТТ150 [16].

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты № 10-02-01145-а и 09-02-00002-а). Авторы также благодарны Комитету по тематике больших телескопов за предоставленное время наблюдений на БТА САО РАН.

Табл. 3

Количество измеренных эквивалентных ширин для двух звезд

HD 2628		HD 204188	
Элемент	Количество линий	Элемент	Количество линий
Ba II	2	Ba II	1
C I	8	C I	2
Ca I	17	Ca I	1
Ca II	3	Ca II	–
Ce II	8	Ce II	2
Co I	4	Co I	1
Co II	1	Co II	–
Cr I	20	Cr I	6
Cr II	32	Cr II	10
Cu I	2	Cu I	1
Dy II	2	Dy II	–
Eu II	1	Eu II	–
Fe I	87	Fe I	25
Fe II	46	Fe II	10
La II	2	La II	–
Mg I	7	Mg I	3
Mg II	2	Mg II	–
Mn I	7	Mn I	3
Nd II	2	Nd II	2
Ni I	32	Ni I	–
Ni II	1	Ni II	–
O I	2	O I	2
Si I	3	Si I	–
Sc II	14	Sc II	1
Si I	9	Si I	5
Sm II	5	Sm II	1
Sr II	1	Sr II	–
Ti I	10	Ti I	–
Ti II	41	Ti II	8
V I	1	V I	–
V II	6	V II	2
Y II	10	Y II	3
Zn I	1	Zn I	–
Zr II	8	Zr II	3

Summary

V.M. Berdnikova, A.I. Galeev, D.V. Ivanova, D.O. Kudryavtsev. Preliminary Results of Analysis of Spectral Observations on BTA for a Sample of δ Sct-Type Stars.

This article presents the results of processing and analysis of the spectra of 13 δ Sct-type stars. The observations were made in October, 2008 with the 6-m telescope BTA of the Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences. In addition to the primary processing of the spectra, we determined preliminary values of the stellar atmospheric parameters (effective temperatures and gravities) based on the photometric data and measured the equivalent widths of the spectral lines and the stellar radial velocities.

Key words: δ Sct-type stars, atmospheric parameters, radial velocities.

Литература

1. Рачковская Т.М. Содержание углерода, азота, кислорода и других элементов в атмосферах пульсирующих звезд типа δ Щита 20 CVn // Астрон. журн. – 1994. – Т. 71, № 4. – С. 638–644.

2. *Рачковская Т.М.* Содержание углерода, азота, кислорода и других элементов в атмосферах пульсирующих звезд типа δ Щита 14 Aur, δ Sct, HD 127986 // Астрон. журн. – 2000. – Т. 77, № 4. – С. 264–272.
3. *Hui-Bon-Hoa A.* Metal abundances of field A and Am stars // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. – 2000. – V. 144, No 2. – P. 203–209.
4. *Yushchenko A., Gopka V., Kim C., Musaev F., Kang Y.W., Kovtyukh V., Soubiran C.* The chemical composition of δ Scuti // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 2005. – V. 359, No 3. – P. 865–873.
5. *Fossati L., Kolenberg K., Reegen P., Weiss W.* Abundance analysis of seven δ Scuti stars // Astron. Astrophys. – 2008. – V. 485, No 1. – P. 257–265.
6. *Панчук В.Е., Пискунов Н.Е., Клочкова В.Г., Юшкин М.В., Ермаков С.В.* Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-метрового телескопа БТА. X. Позиционные и фотометрические характеристики кварцевого эшелле-спектрографа НЭС с крупноформатной матрицей «Уппсала ПЗС». Препринт № 169. – Нижний Архыз: CAO РАН, 2002. – 15 с.
7. *Rodríguez E., López-González M.J., López De Coca P.* A revised catalogue of δ Sct stars // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. – 2000. – V. 144, No 3. – P. 469–474.
8. *Piskunov N.E., Valenti J.A.* New algorithms for reducing cross-dispersed echelle spectra // Astron. Astrophys. – 2002. – V. 385, No 3. – P. 1095–1106.
9. *Галазутдинов Г.А.* Система обработки звездных эшелле-спектров. II. Обработка спектров. Препринт № 92. – Нижний Архыз: CAO РАН, 1992. – С. 27–52.
10. *Balona L.A.* Effective temperature, bolometric correction and mass calibration for O-F stars // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1994. – V. 268, No 1. – P. 119–127.
11. *Cenarro A.J., Peletier R.F., Sanchez-Blazquez P., Selam S.O., Toloba E., Cardiel N., Falcon-Barroso J., Gorgas J., Jimenez-Vicente J., Vazdekis A.* Medium-resolution Isaac Newton Telescope library of empirical spectra – II. The stellar atmospheric parameters // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 2007. – V. 374, No 2. – P. 664–690.
12. *Allende Prieto C., Lambert D.L.* Fundamental parameters of nearby stars from the comparison with evolutionary calculations: masses, radii and effective temperatures // Astron. Astrophys. – 1999. – V. 352. – P. 555–562.
13. *Hui-Bon-Hoa A., Alecian G.* Metal abundances of A-type stars in galactic clusters. II. Pleiades, Coma Berenices, Hyades, and Praesepe // Astron. Astrophys. – 1998. – V. 332. – P. 224–234.
14. *Gontcharov G.A.* Pulkovo Compilation of Radial Velocities for 35495 Hipparcos Stars in a Common System // Astron. Lett. – 2006. – V. 32, No 11. – P. 759–771.
15. *Duflot M., Figon P., Meyssonnier N.* Vitesses radiales. Catalogue WEB: Wilson Evans Batten // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. – 1995. – V. 114. – P. 269–280.
16. *Иванова Д.В., Галеев А.И., Шиманский В.В., Бикмаев И.Ф.* Исследование химического состава звезд типа δ Щита на основе спектроскопических данных // Кинем. и физ. неб. тел. – 2009. – Прил. к № 6. – С. 330–333.

Поступила в редакцию
24.01.11

Бердникова Венера Мингазовна – ассистент кафедры вычислительной физики и моделирования физических процессов Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: zvmt84@mail.ru

Галеев Алмаз Ильсурович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *almazgaleev2@yandex.ru*

Иванова Диана Владимировна – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *dianai@mail.ru*

Кудрявцев Дмитрий Олегович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Специальной астрофизической обсерватории РАН.

E-mail: *dkudr@sao.ru*